

POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

www.upm.es



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

HELICÓPTEROS

*Profesores: Miguel A. Barcala Montejano
Ángel A. Rodríguez Sevillano*

POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

**SISTEMA CONTROL.
MANDOS DE VUELO**

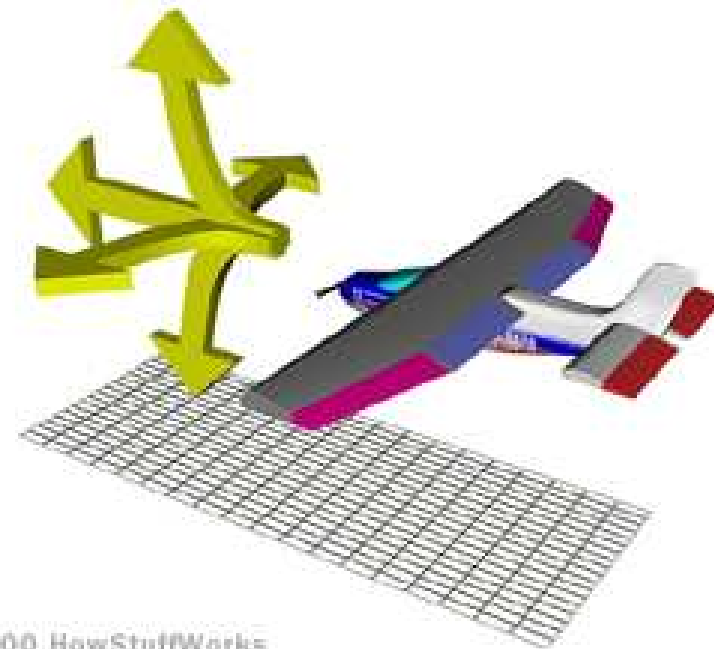
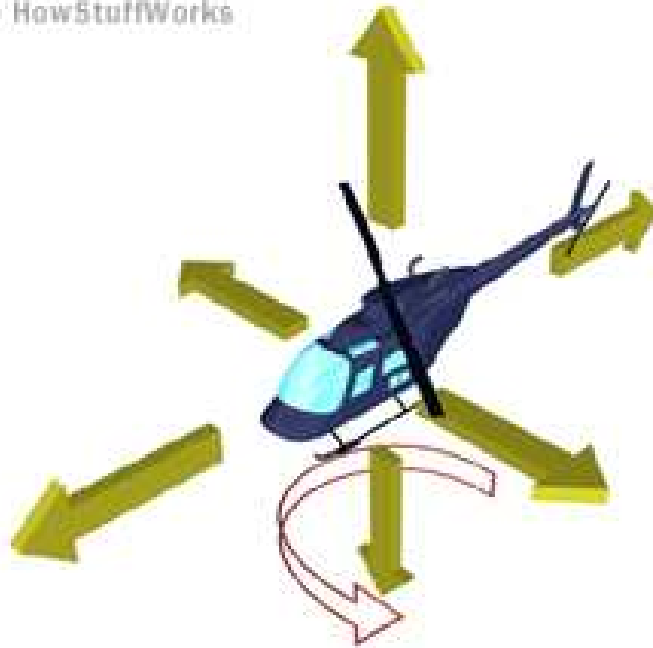
POLITÉCNICA





INTRODUCCIÓN

©2000 HowStuffWorks

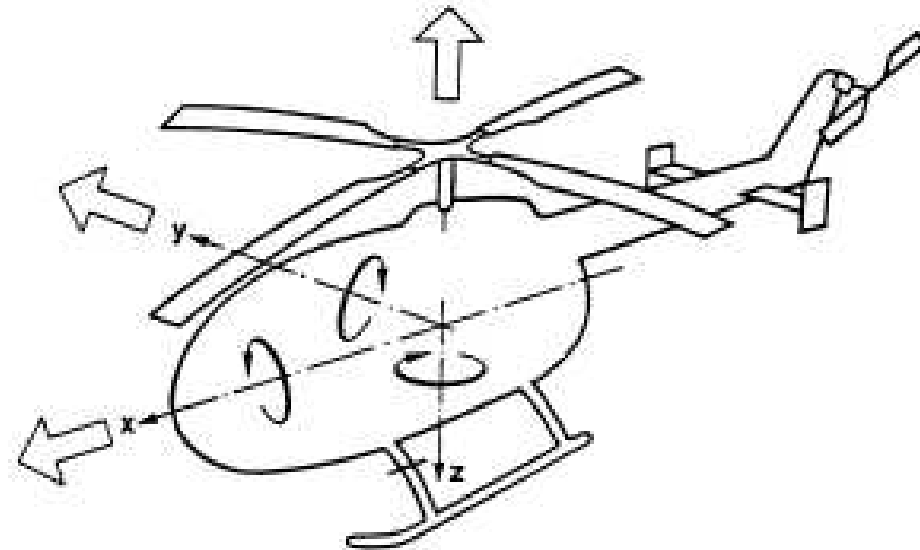


©2000 HowStuffWorks




INTRODUCCIÓN

- Necesidad de un sistema de mandos y control que permita libertad de maniobra sobre los tres ejes:
 - Vertical,
 - Longitudinal, y
 - Transversal.





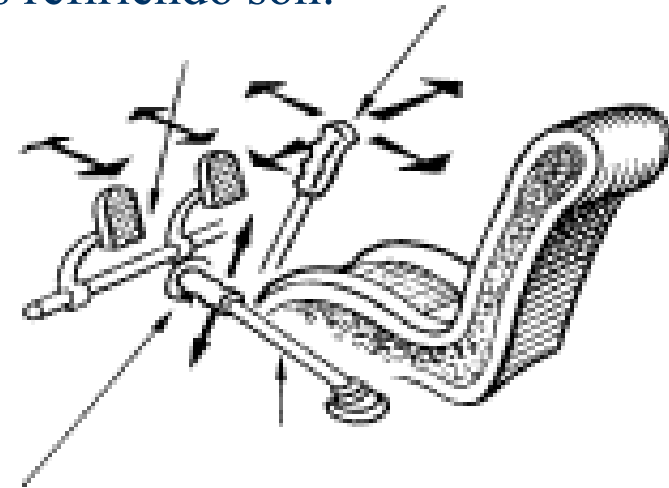
INTRODUCCIÓN

- Para conseguir los movimientos indicados es preciso que aparezcan componentes de la resultante general que tiendan a cambiar la actitud del helicóptero.
- Capacidad de control completa sobre posición y actitud del helicóptero aire  existencia de sistemas que permitan actuar sobre las fuerzas y momentos en los tres ejes.
- El rotor principal proporciona las fuerzas longitudinal y lateral.



INTRODUCCIÓN

- Quiere esto decir que para actuar sobre los 6 GDL (grados de libertad) del helicóptero basta con 4 controles independientes:
 - Mov. vertical,
 - Mov. longitudinal,
 - Mov. lateral,
 - Mov. guiñada.
- Los cuatro controles a los que nos estamos refiriendo son:





INTRODUCCIÓN

- **PALANCA DE PASO COLECTIVO:**
 - Situada en la mano izquierda del piloto, es la responsable del desplazamiento vertical del helicóptero.
 - Aumenta o disminuye la sustentación del rotor principal.
 - En el extremo de esta palanca, suele ir situado el mando de gases.
 - Estos dos mandos van combinados.





INTRODUCCIÓN

- **PALANCA DE PASO CÍCLICO:**
 - Proporciona el control longitudinal y lateral adecuado.
 - Situada delante del piloto.
 - La palanca se empuja en la dirección en la que se desea el vuelo.
 - Un pequeño pulsador para el pulgar permite ajustar la posición para vuelo compensado.



©2000 HowStuffWorks





INTRODUCCIÓN

- MANDO DE GASES:
 - Como ya se ha indicado, puede ir situado en el extremo de la palanca colectivo y con él se controla la potencia del motor.
 - En helicópteros de pistón se controla por el piloto.
 - En helicópteros de turbina mediante un mecanismo regulador para que al modificar el paso colectivo permanezca constante la velocidad angular del rotor.



INTRODUCCIÓN

● PEDALES:

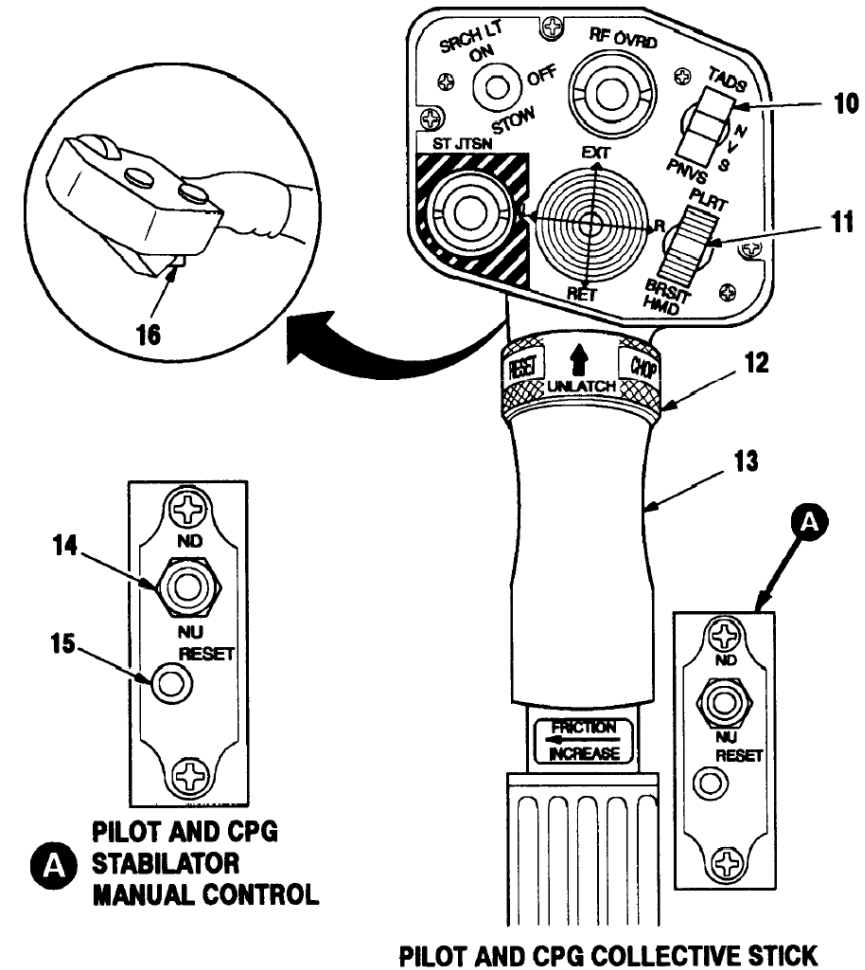
- Proporcionan guiñada o control direccional.
- El pedal se pisa en la dirección requerida.
- Modifica el empuje del rotor del cola o el dispositivo antipar correspondiente.





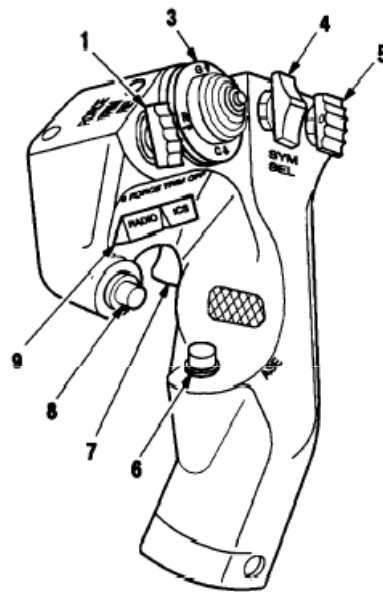
INTRODUCCIÓN

1. PILOT FORCE TRIM RELEASE SWITCH
2. CPG TRIM PUSHBUTTON
3. WEAPONS ACTION SWITCH (MOMENTARY)
4. FLIGHT MODE SYMBOLOGY SWITCH
5. INOPERATIVE
6. DASE RELEASE SWITCH
7. GUARDED TRIGGER SWITCH
8. REMOTE TRANSMITTER SELECTOR SWITCH (PILOT GRIP ONLY)
9. RADIO, ICS ROCKER SWITCH
10. NIGHT VISION SWITCH
11. BORESIGHT HMD/POLARITY SWITCH
12. ENGINE CHOP COLLAR
13. COLLECTIVE GRIP
14. STABILATOR MANUAL CONTROL SWITCH
15. AUTOMATIC OPERATION/AUDIO WARNING RESET BUTTON
16. BUCS SELECT TRIGGER SWITCH (CPG ONLY)

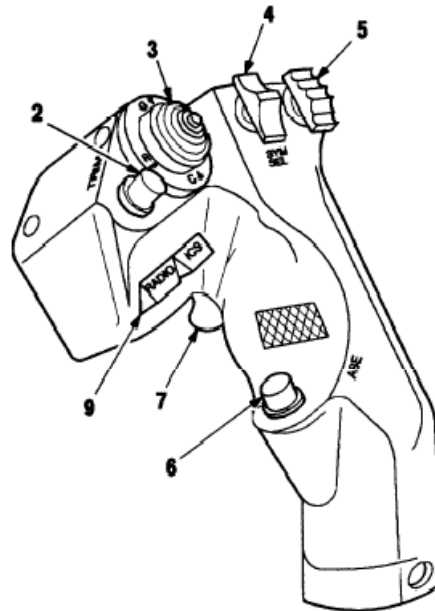




INTRODUCCIÓN



PILOT CYCLIC STICK GRIP



CPG CYCLIC STICK GRIP

1. PILOT FORCE TRIM RELEASE SWITCH
2. CPG TRIM PUSHBUTTON
3. WEAPONS ACTION SWITCH (MOMENTARY)
4. FLIGHT MODE SYMBOLOGY SWITCH
5. INOPERATIVE
6. DASE RELEASE SWITCH
7. GUARDED TRIGGER SWITCH
8. REMOTE TRANSMITTER SELECTOR SWITCH (PILOT GRIP ONLY)
9. RADIO, ICS ROCKER SWITCH
10. NIGHT VISION SWITCH
11. BORESIGHT HMD/POLARITY SWITCH
12. ENGINE CHOP COLLAR
13. COLLECTIVE GRIP
14. STABILATOR MANUAL CONTROL SWITCH
15. AUTOMATIC OPERATION/AUDIO WARNING RESET BUTTON
16. BUGS SELECT TRIGGER SWITCH (CPG ONLY)



INTRODUCCIÓN

- Con la actuación combinada de todos estos mandos, se obtienen todos los movimientos del helicóptero.



Dispositivo antipar

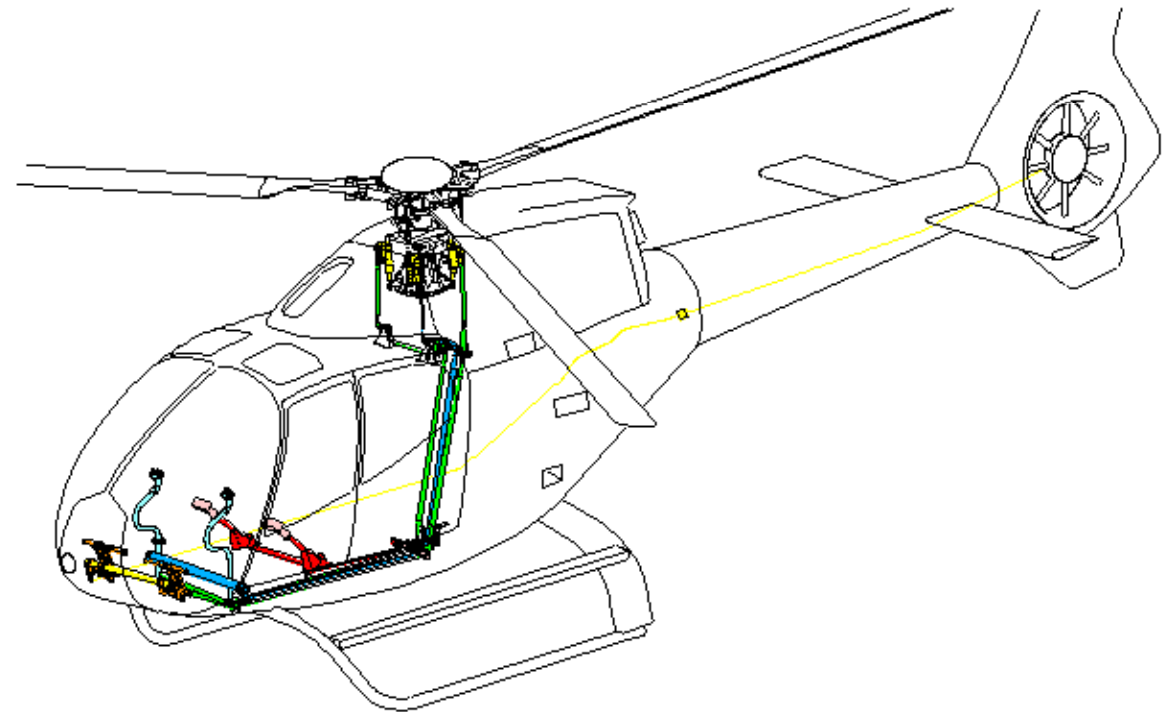
- Rotor de cola: sistema más común para control sobre el eje de guiñada (además de compensar el par de reacción).
- Rotor, generalmente, dotado exclusivamente de paso colectivo de forma que el ángulo de paso se modifica mediante los pedales (y por el sistema de piloto automático, si dispone de él).
- Aumentará o disminuirá la tracción del rotor y, por tanto, el momento o par que produce respecto al CG de la aeronave.



Dispositivo antipar

- Los pedales están unidos al rotor de cola por unos mecanismos de transmisión. (EC 120)

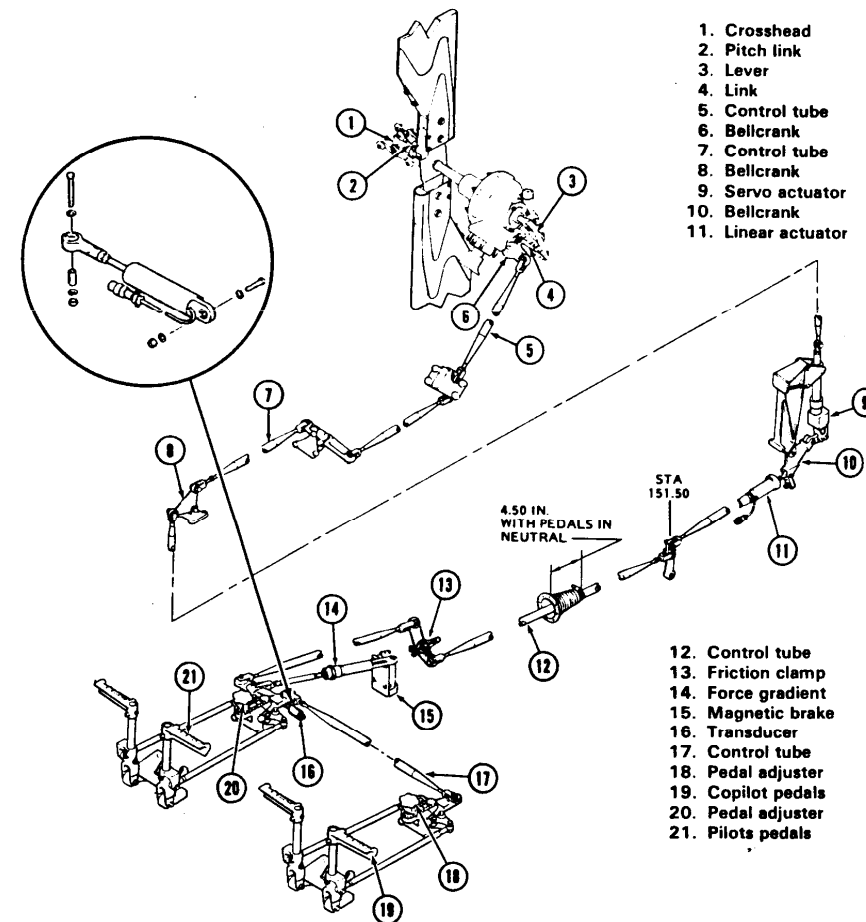
Figure 1. General - Rotor Flight Controls
Sheet 1.





Dispositivo antipar

- Sistema de control antipar del Agusta AB 412.





Dispositivo antipar

- Aspectos:
 - Rotor de cola absorbe una potencia (entre 5÷15% total).
 - En vuelo a punto fijo, cuando más potencia consume el rotor de cola, cuando más se necesita de la potencia del motor para rotor principal y el resto de los elementos.
 - Por ello se han desarrollado otros sistemas de compensar el par de reacción y proporcionar control en guiñada.
 - Sigue siendo el que da más maniobrabilidad al aparato.



Dispositivo antipar

- Inconvenientes:
 - Consumo apreciable de potencia,
 - Resistencia en vuelo de avance,
 - Peligrosidad en operación en tierra, ruido, ... etc.
- Dentro de los nuevos sistemas se encuentran el *fenestron* y el *NOTAR*.



Fenestron

- Aérospatiale desarrolló un concepto original, el *fenestron*, para disminuir los inconvenientes de los rotores de cola convencionales.
- Inconvenientes de rotor antipar, entre otros:
 - Generación de ruido que representa una parte importante del total del helicóptero
 - Porcentaje de potencia requerida respecto la potencia total.

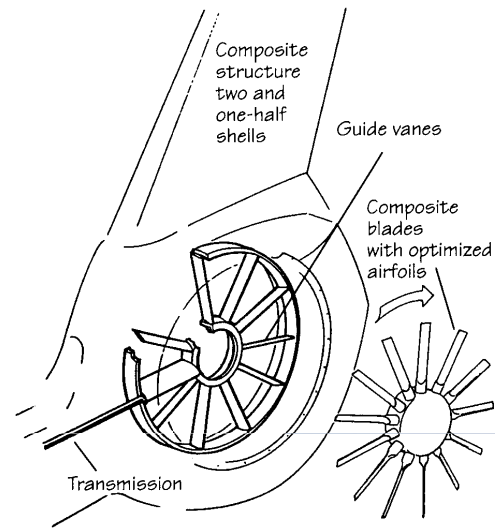


Fenestron

- El *fenestron* es un rotor carenado que le protege contra las principales agresiones exteriores además de reducir el ruido irradiado.
- Su situación no interfiere en el movimiento del aire alrededor del estabilizador vertical.

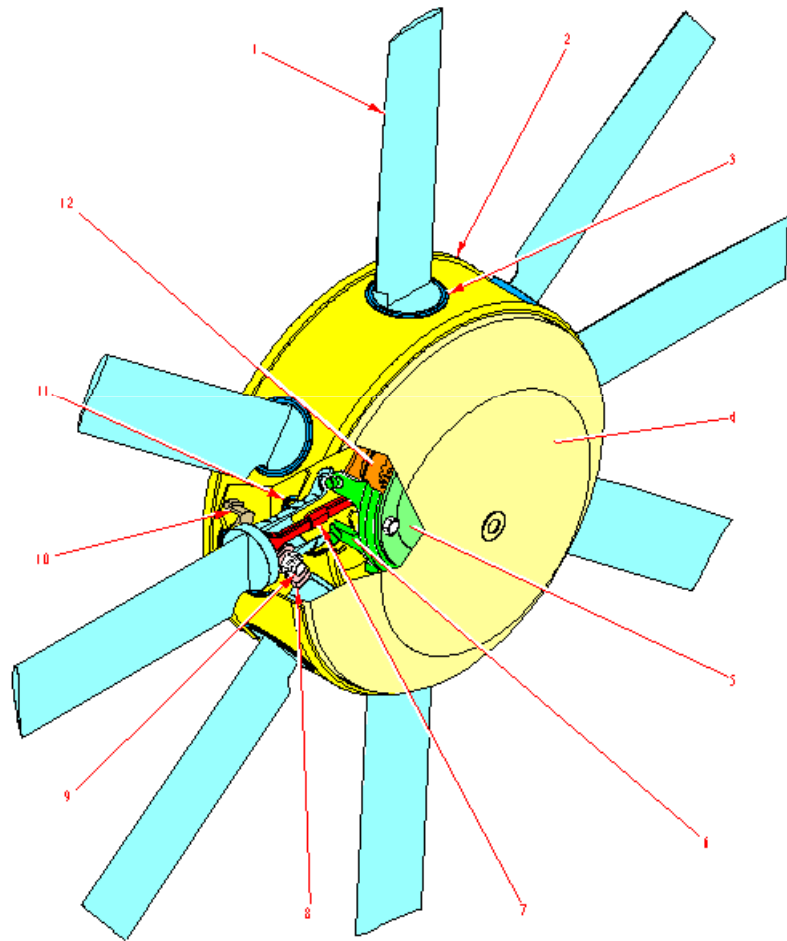


Fenestron





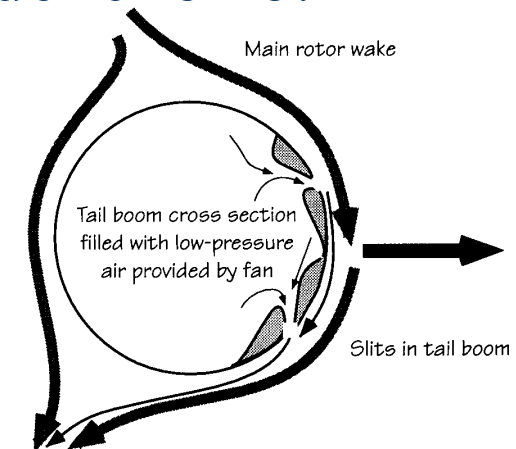
Fenestron





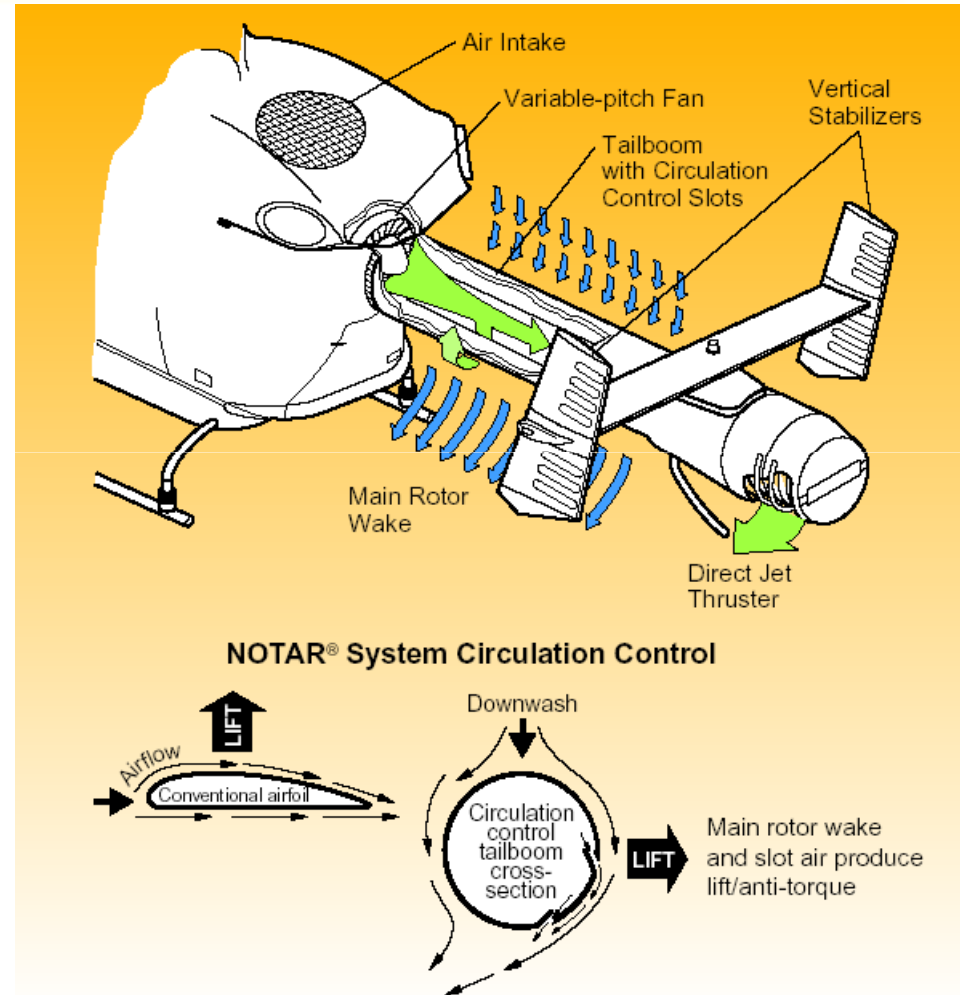
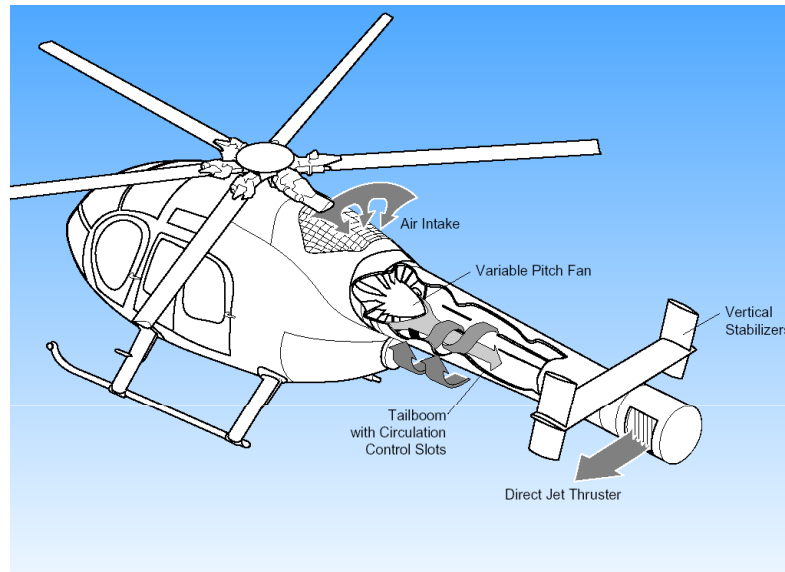
NOTAR

- Otro desarrollo importante es el concepto de *NOTAR* (*no tail rotor*).
- Consiste en un chorro de aire comprimido que se expulsa por una ranura a lo largo del cono de cola.
- El flujo alrededor del cono genera la fuerza lateral necesaria, con el control adecuado del chorro.



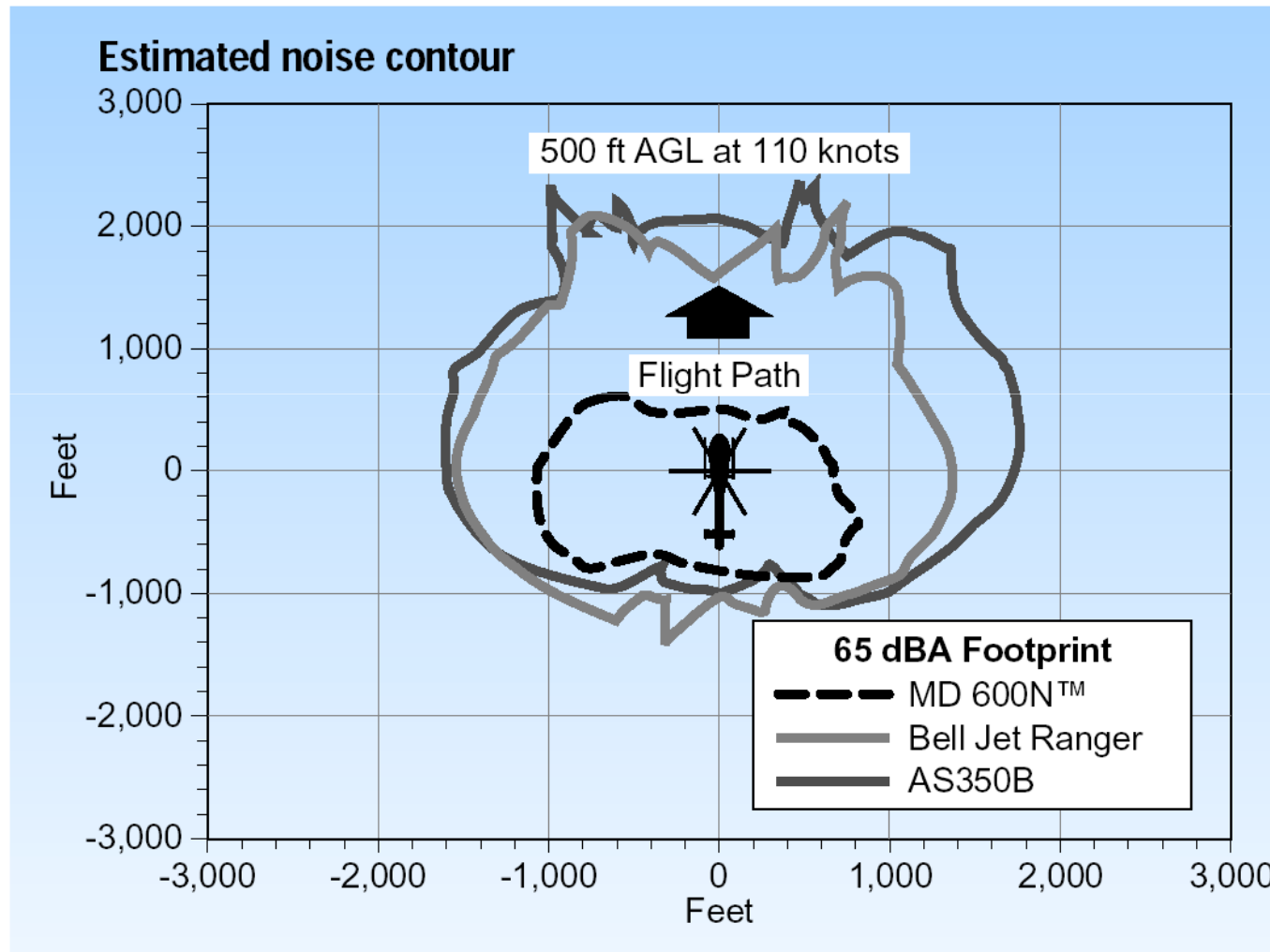


NOTAR





NOTAR





NOTAR





Palanca de paso colectivo

- Al subir o bajar esta palanca lo que hacemos es aumentar o disminuir, respectivamente, el ángulo de paso de todas las palas del rotor.
- Con ello aumentamos o disminuimos la sustentación del rotor -aumentando, por tanto, la componente vertical de la fuerza- y desplazando el helicóptero según ese eje vertical.



Palanca de paso colectivo

- A la vez que se eleva la palanca de paso colectivo se aumenta automáticamente la potencia del motor, por estar conjugado este mando de gases con el primero.
- Esto es así con objeto de que no disminuya el número de revoluciones del rotor que tiene que permanecer constante.



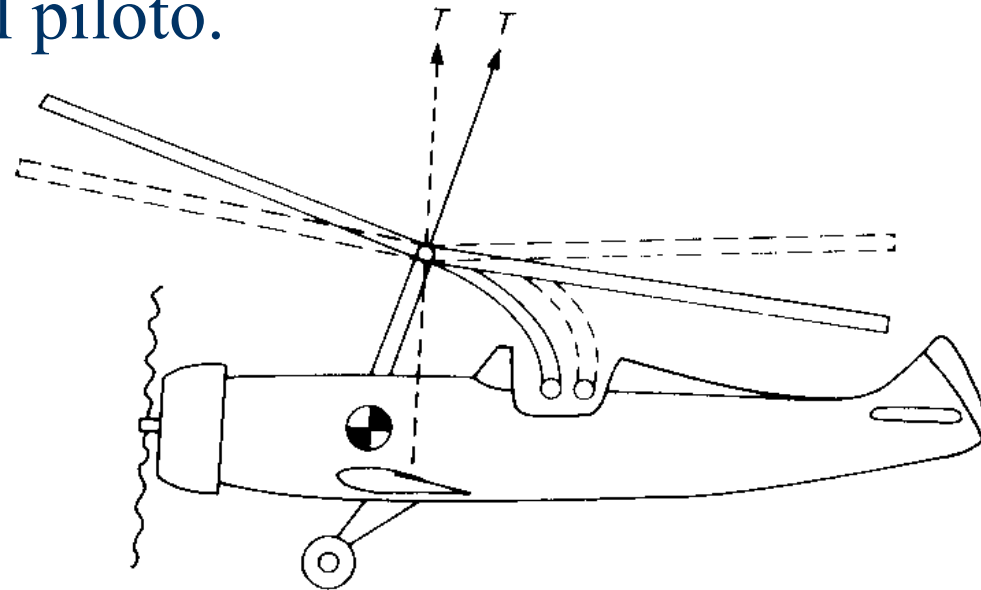
Palanca de paso cíclico

- Sabemos que la palanca de paso cíclico proporciona el control adecuado del vehículo en sentido longitudinal y lateral.
- Necesitamos, pues, un mecanismo capaz de inclinar el plano de rotación del disco del rotor en el sentido de vuelo deseado.
- Así aparecerá una componente de la sustentación del rotor en la dirección mencionada.
 - (Este paso cíclico es independiente de las variaciones cíclicas del paso expuestas con anterioridad -para compensar la asimetría de sustentación- y las cuales NO dependen del piloto).



Palanca de paso cíclico

- En la dirección en que se mueva esta palanca se dirigirá el helicóptero.
- Inicialmente, en el desarrollo de los autogiros, la inclinación del eje del árbol de giro se hacía directamente por el piloto.





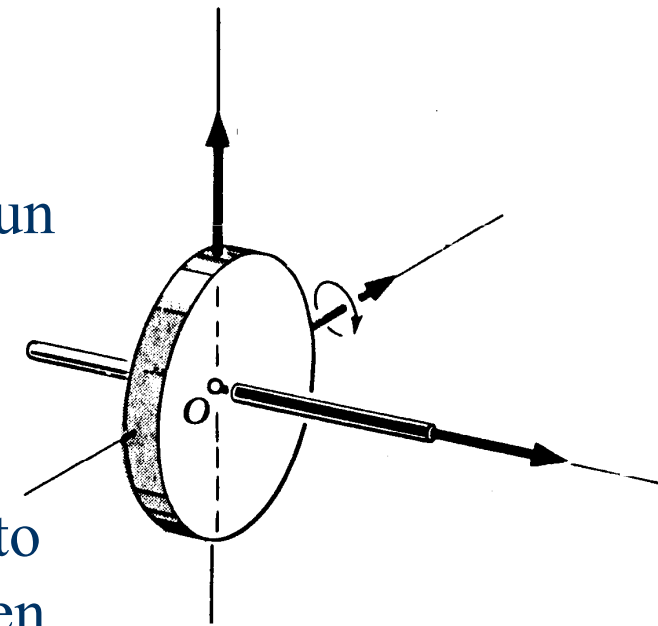
Palanca de paso cíclico

- Pero la fuerza que se tendría que hacer mecánicamente para conseguir inclinar el rotor de un helicóptero a un número elevado de revoluciones sería enorme.
- Utilizaremos el comportamiento del rotor como un giróscopo y su fenómeno de precesión.



Precesión Giroscópica

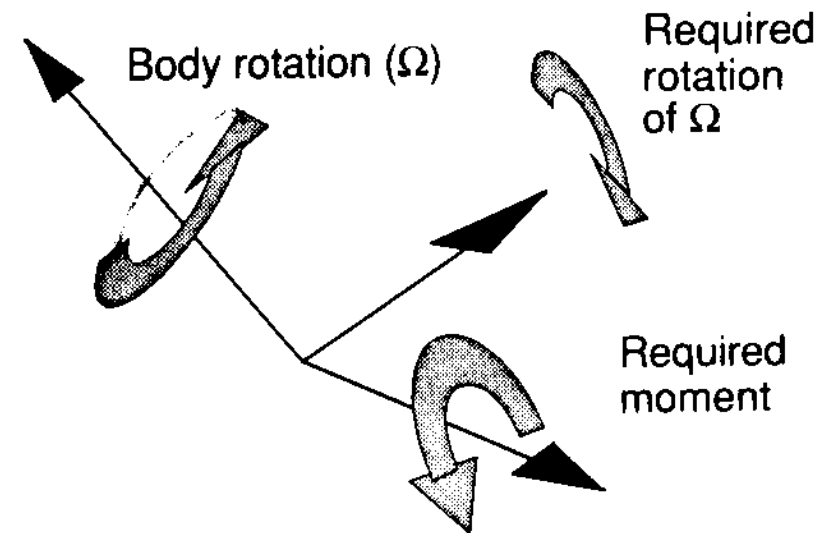
- Giróscopo: caso más representativo del movimiento de un sólido con punto fijo.
- En un sólido con punto fijo girando sobre el eje de rotación propia, cuando aplicamos un momento o par produce un giro según el eje de precesión (*precesiona*).
- Al aplicar un momento \mathbf{M}_o a dicho giróscopo según una dirección, el efecto (precesión $\dot{\Psi}$) aparece girado 90° en el sentido de giro de rotación propia ($\dot{\varphi}$) respecto a la causa.





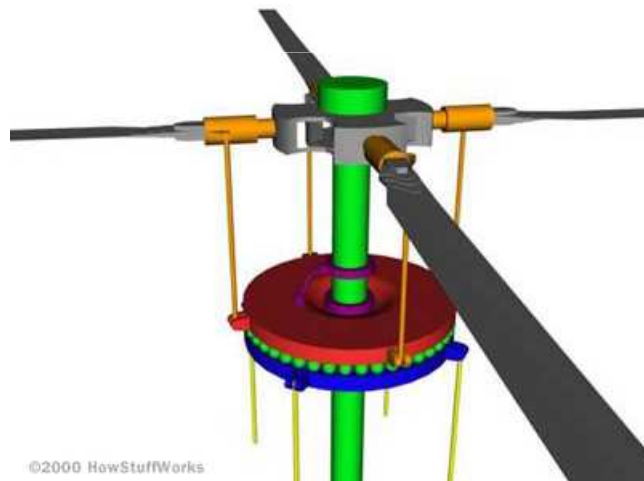
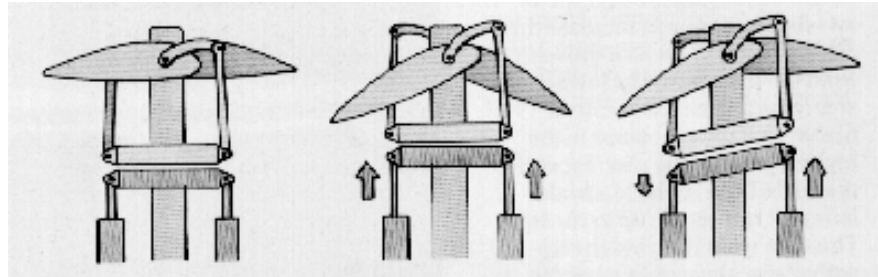
Precesión Giroscópica

- Un rotor de helicóptero girando a las revoluciones habituales se comporta como un sólido con punto fijo.
- Si queremos inclinar el plano del disco en una dirección habrá que introducir un par en el rotor 90° antes en el sentido de giro.





Plato oscilante



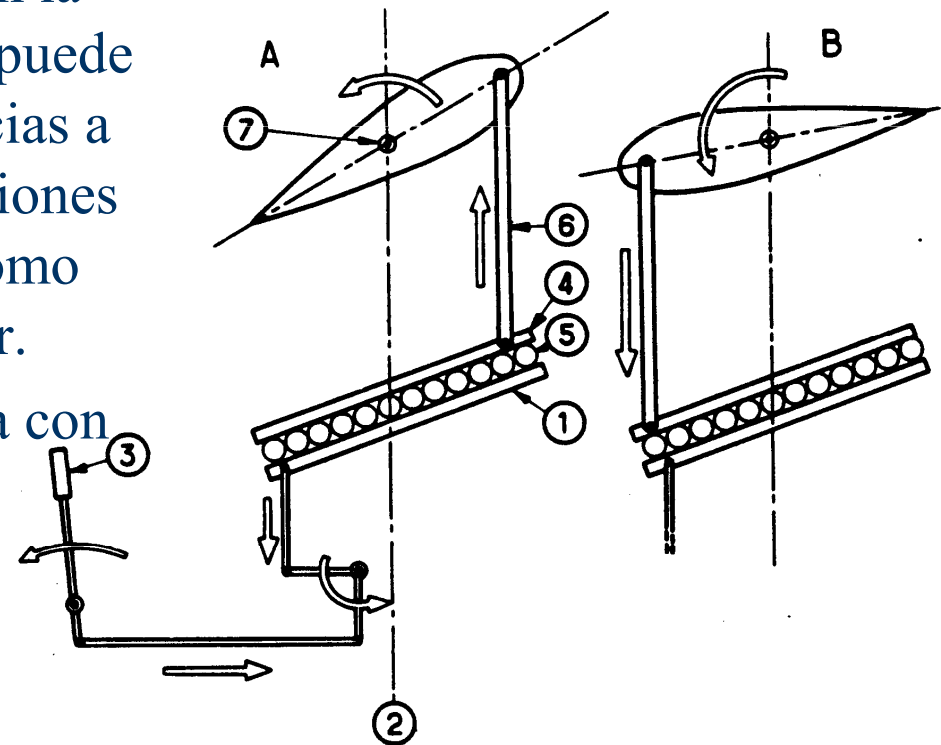
©2000 HowStuffWorks





Plato oscilante

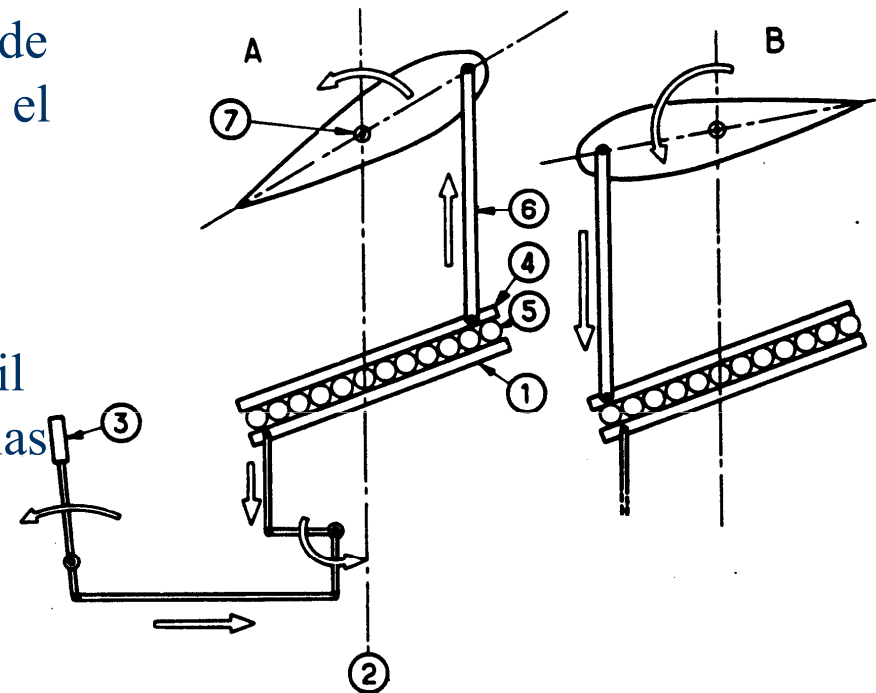
- El plato fijo \mathcal{R} está montado en una junta universal en el árbol del rotor \mathcal{Q} aunque no gira con el árbol.
- Un sistema mecánico lo une con la palanca de paso cíclico \mathcal{S} que puede inclinarlo en todos los ejes gracias a un sistema de bielas y articulaciones tanto en el plano de la figura como en uno perpendicular al anterior.
- Un segundo plato \mathcal{Q} que sí gira con el árbol está montado sobre el anterior.





Plato oscilante

- Entre ambos se encuentra un sistema de rodamientos \mathcal{B} por el que obtenemos el giro del plato superior y, a su vez, la transmisión del cambio de eje de giro del inferior al superior.
- El plato superior que gira con el mástil va unido por unas varillas \mathcal{C} a las palas \mathcal{A} que las obliga a cambiar de paso cuando el plato oscilante se mueve.
- En la posición mostrada en la figura, aumenta el paso de la pala que se halla en la posición A y lo reduce en igual proporción cuando, después de efectuar media rotación, la misma pala se halla en B.





Plato oscilante

- Entre esas dos posiciones extremas, las variaciones serán continuas; **será el paso cíclico.**
- El razonamiento es válido para cualquier número de palas.
- Si mediante otro mando puede desplazarse arriba-abajo el conjunto del plato: mando del **paso colectivo.**



Plato oscilante

- Problemas con que nos encontramos:
 - cómo transmitir los movimientos desde una parte fija (ejes aeronave) de la estructura del helicóptero hacia el rotor del mismo, que se encuentra en rotación continua, y
 - modificar la posición de las palas actuando sobre las fuerzas aerodinámicas que aparecen en ellas.



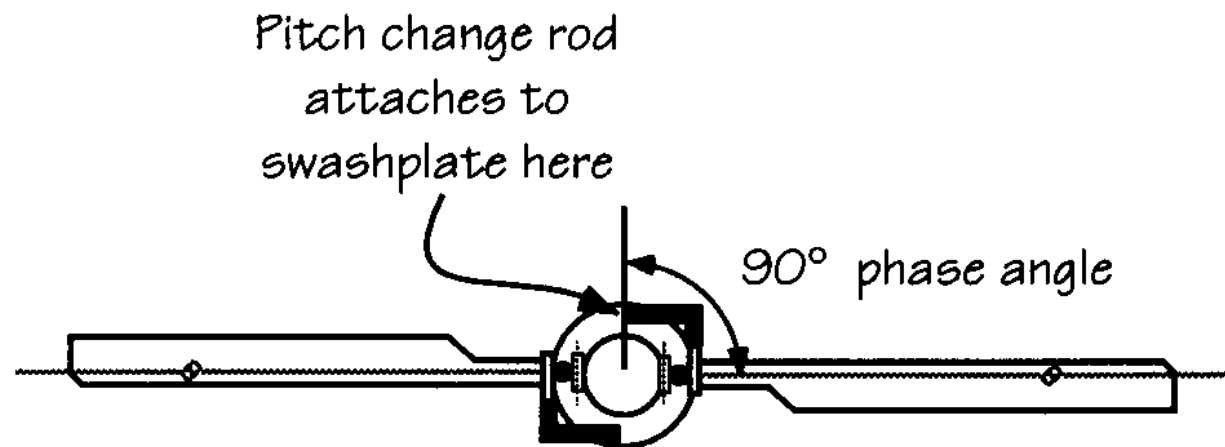
Plato oscilante

- Debido al efecto de precesión giroscópica:
 - si queremos que el plano de disco se incline en una determinada dirección,
 - debemos introducir un par en el rotor 90° antes (en el sentido de giro de rotación propia).



Plato oscilante

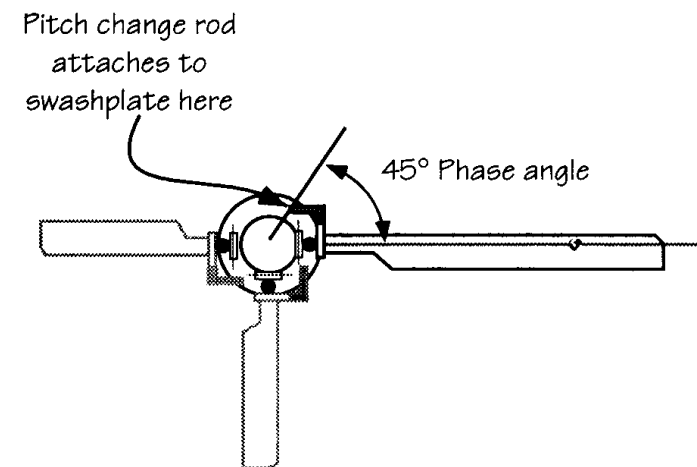
- En este caso, el ángulo de paso de la pala debe disminuir 90° antes (según el acimut \rightarrow) del punto más bajo de la trayectoria que se desea que defina el plano de rotación.
- La situación de las varillas de cambio de paso en el plato oscilante será 90° antes de la posición radial de la pala.





Plato oscilante

- Esto implicaría:
 - considerables esfuerzos de flexión en las varillas de cambio de paso (debido a su longitud), y
 - no ser tan simple su desarrollo para rotores que no sean bipala.
- Existen otros posicionamientos de las varillas en el plato oscilante.





Plato oscilante

- Podemos conseguir así varillas más ligeras y delgadas.
- Para este diseño el plano del plato oscilante no será paralelo al plano de las puntas de pala.
- Suele ser frecuente en rotores de tres o más palas, donde el plato oscilante se inclina de forma inusual.



Plato oscilante

- Ejemplo:
 - cuando el cíclico esté en la posición más adelantada, el plato oscilante puede no estar inclinado hacia delante sino hacia un lado.
 - El cambio de paso de las palas será el adecuado, es decir, el ángulo en la pala de la derecha - visto desde arriba y con sentido de giro antihorario- será el mínimo.



Plato oscilante





Plato oscilante





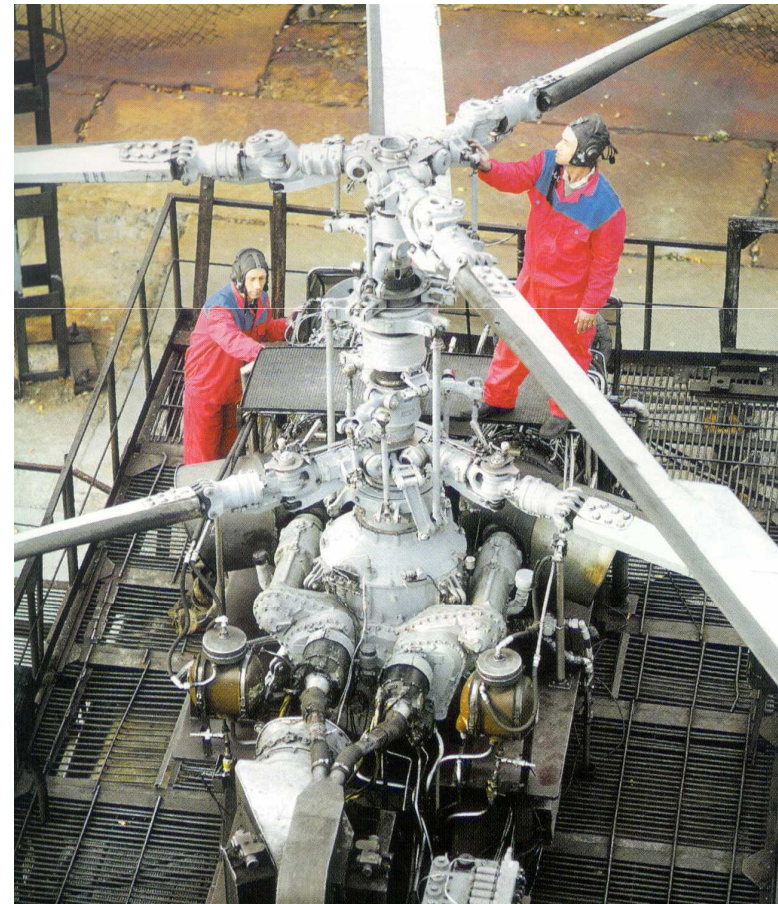
Plato oscilante





Plato oscilante

- Rotor coaxial. Sistema plato oscilante





Plato oscilante

- MD-600. Sistema de mandos

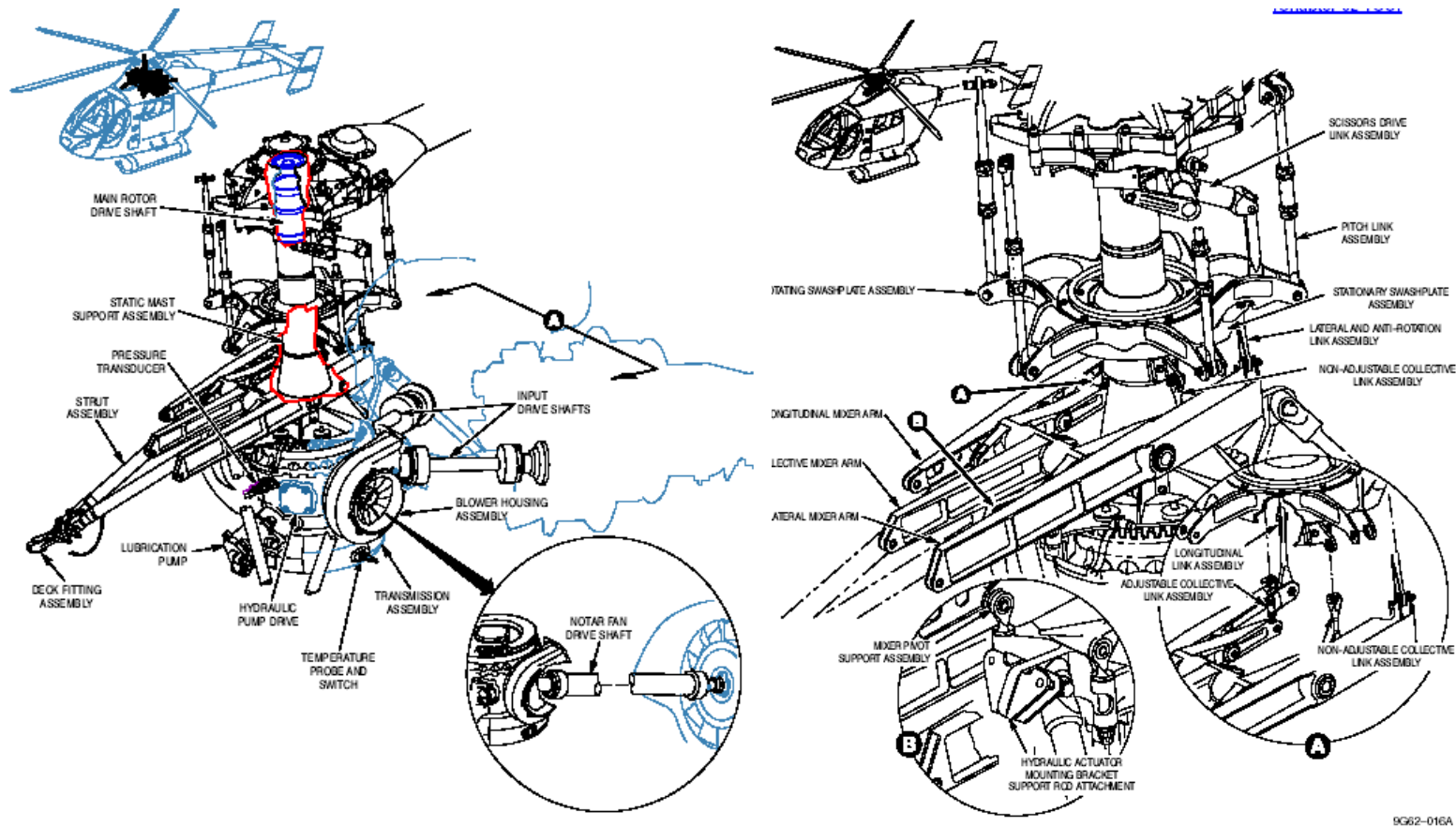
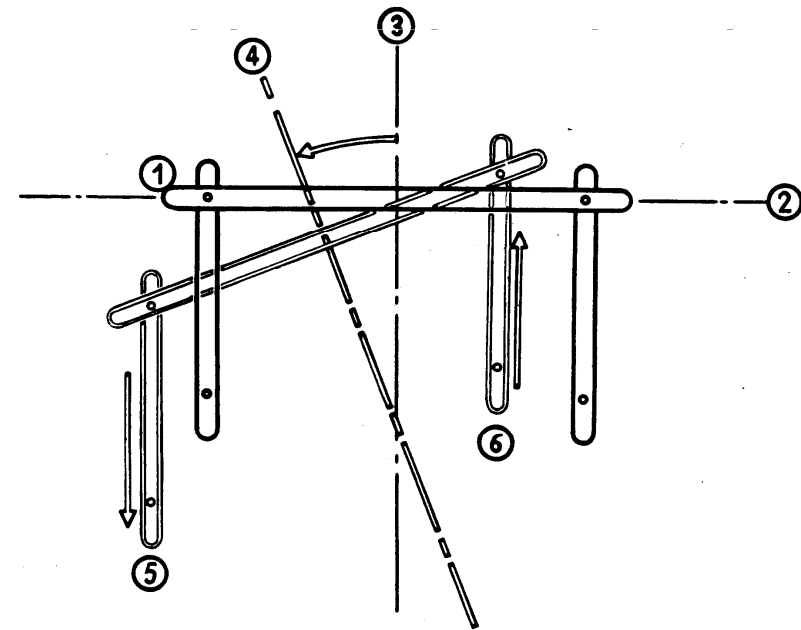


Figure 2. Upper Flight Controls Subsystem



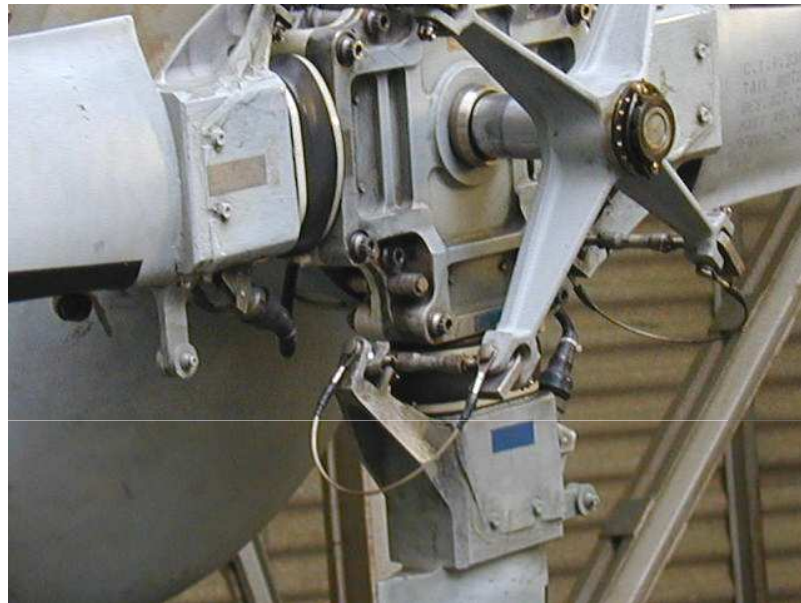
Brazo Araña

- Análogo al plato oscilante salvo que en este caso el sistema consta de un brazo \mathcal{Q} que gira en un plano \mathcal{Q} perpendicular a un eje que puede modificar su orientación \mathcal{S} y \mathcal{R} .
- Las bieletas \mathcal{B} - \mathcal{T} son las pasos.





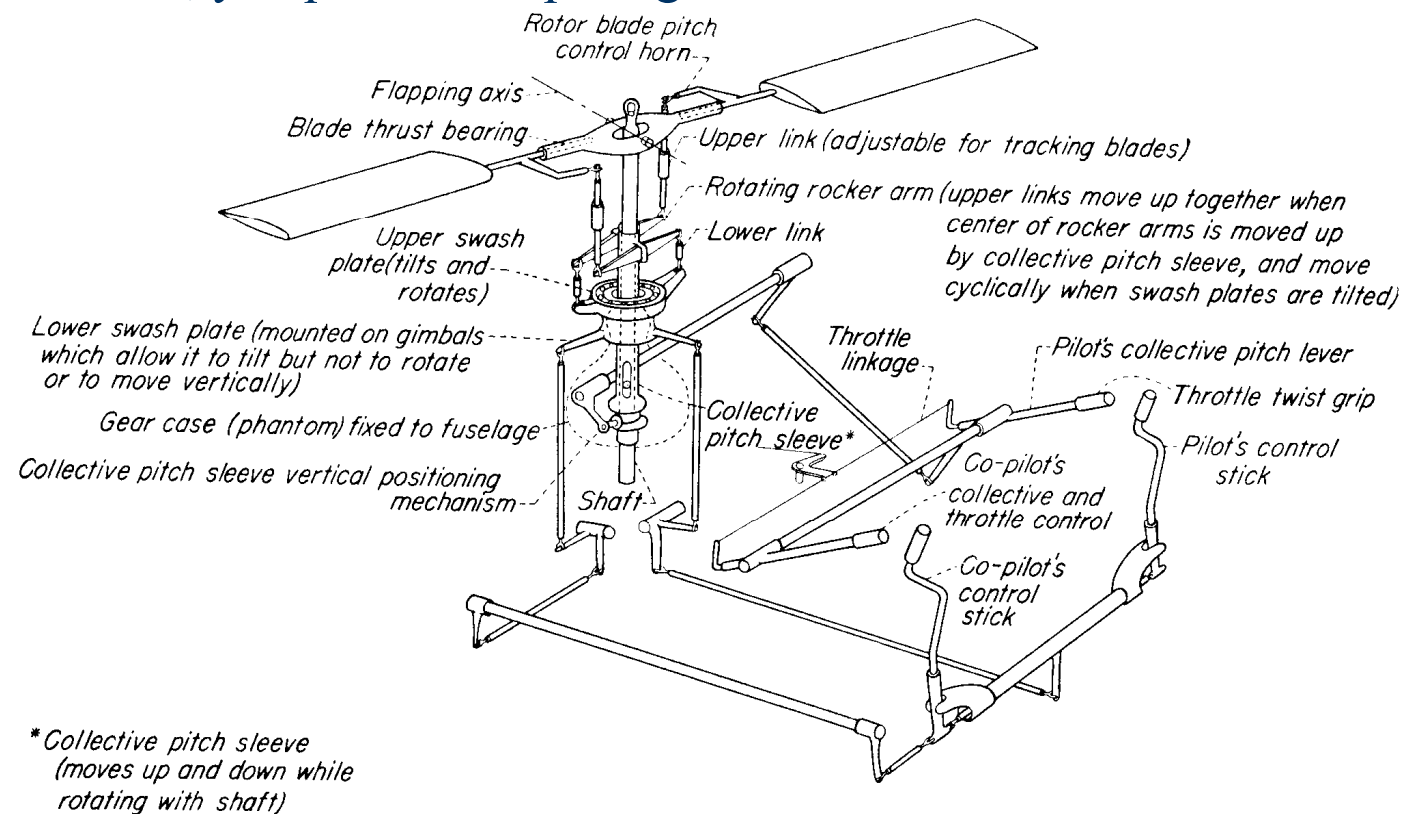
Brazo Araña





Ejemplos

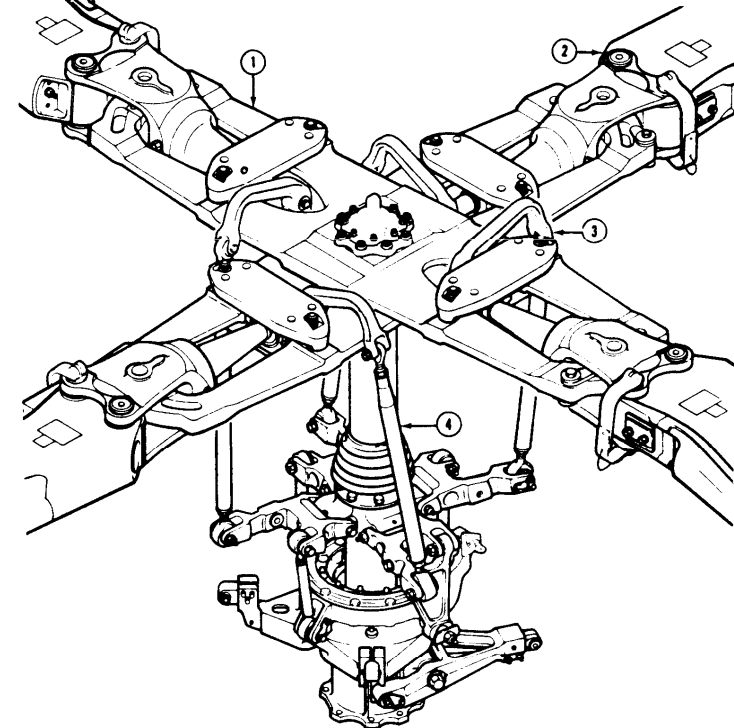
- Sistema completo de mandos de un helicóptero de enseñanza de doble mando, y en el que se puede apreciar el mecanismo para los vuelos en sentido lateral, y la palanca de paso general.





Ejemplos

- Cabeza del rotor principal del Agusta AB412 con el mecanismo de plato oscilante.

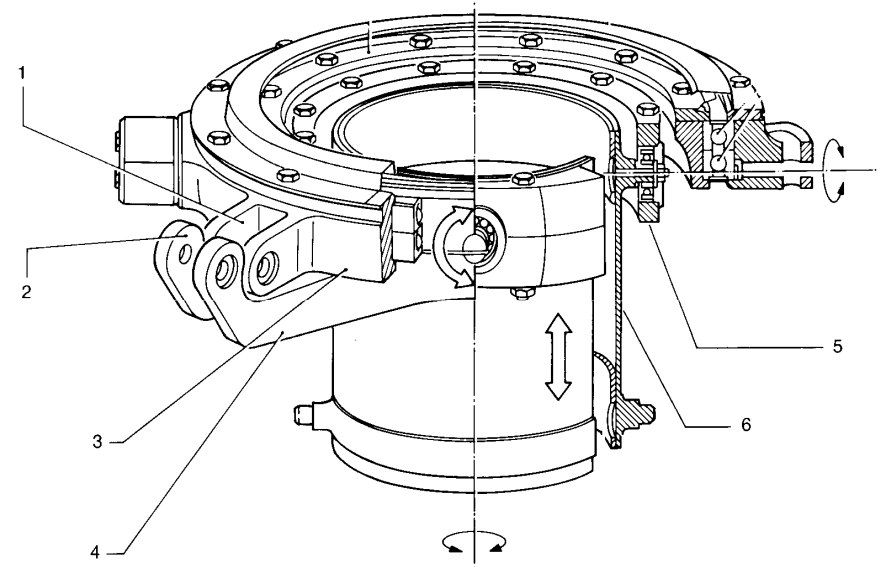


1. Main rotor hub assembly
2. Main rotor blade
3. Main rotor hub pitch horn
4. Pitch link assembly



Ejemplos

- Mecanismo de plato oscilante del helicóptero BO 105.



Plato oscilante

- 1 Conexión del eslabón de control
- 2 Conexión del eslabón de horquilla
- 3 Anillo de cojinete (giratorio)
- 4 Anillo de control (estacionario)
- 5 Anillo cardan (estacionario)
- 6 Manguito deslizante

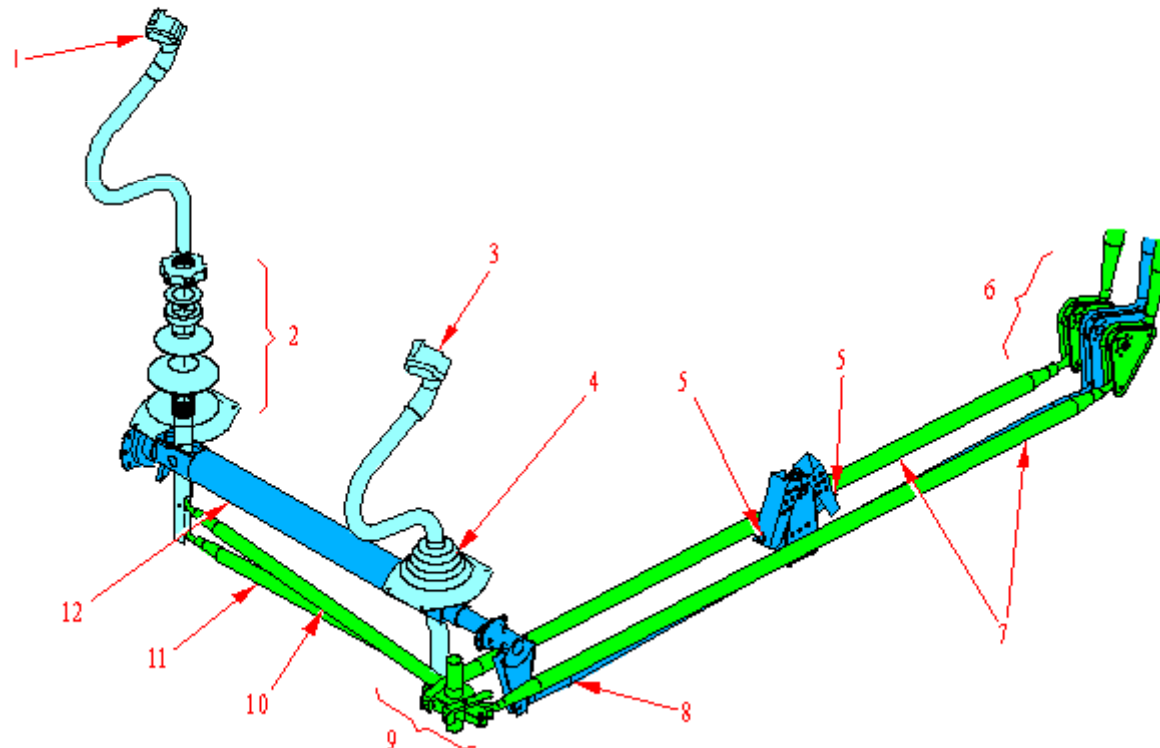


Ejemplos

- Conjunto completo de mandos de vuelo del EC120.

Figure 1. Description of the Cyclic Pitch Controls - Rotor Flight Controls

Sheet 1.





Ejemplos

- Conjunto completo de mandos de vuelo del EC120.

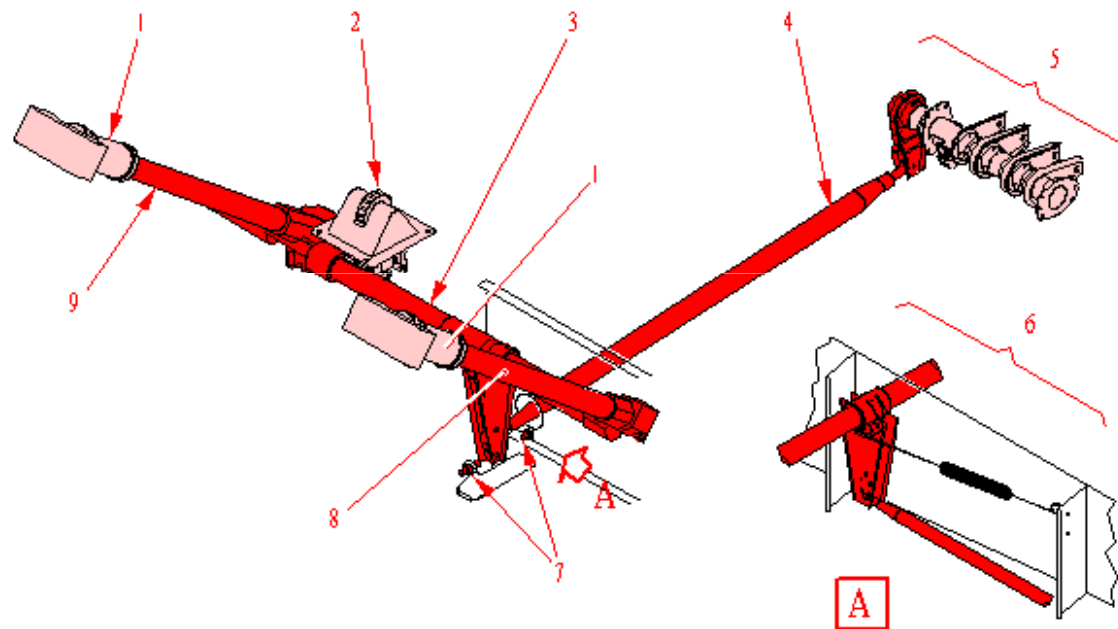


Figure 3. Description of the Mixed Pitch Controls - Rotor Flight Controls
Sheet 1.



Ejemplos

- Conjunto completo de mandos de vuelo del EC120.

Figure 1. General - Servocontrols
Sheet 1.

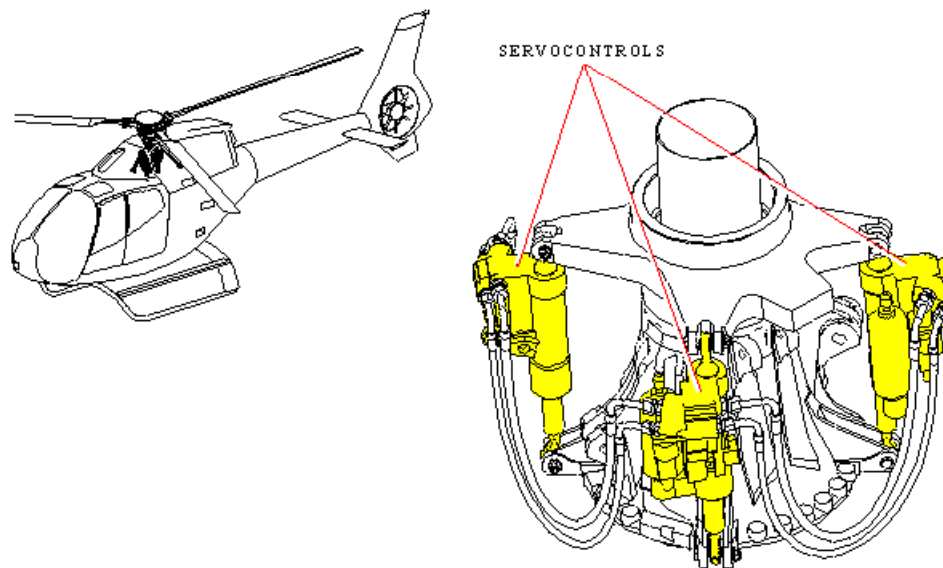
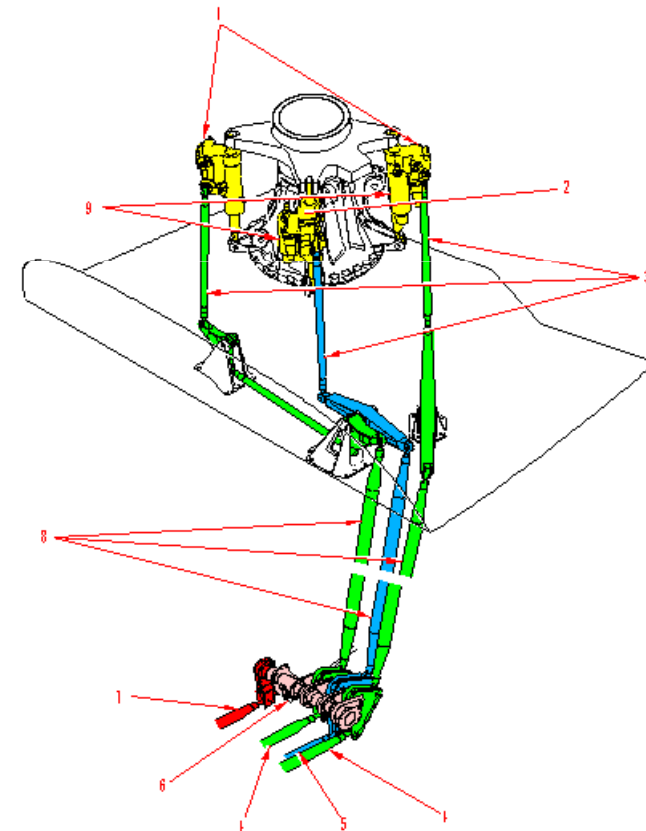


Figure 3. Description of the Mixed Pitch Controls - Rotor
Flight Controls
Sheet 1.

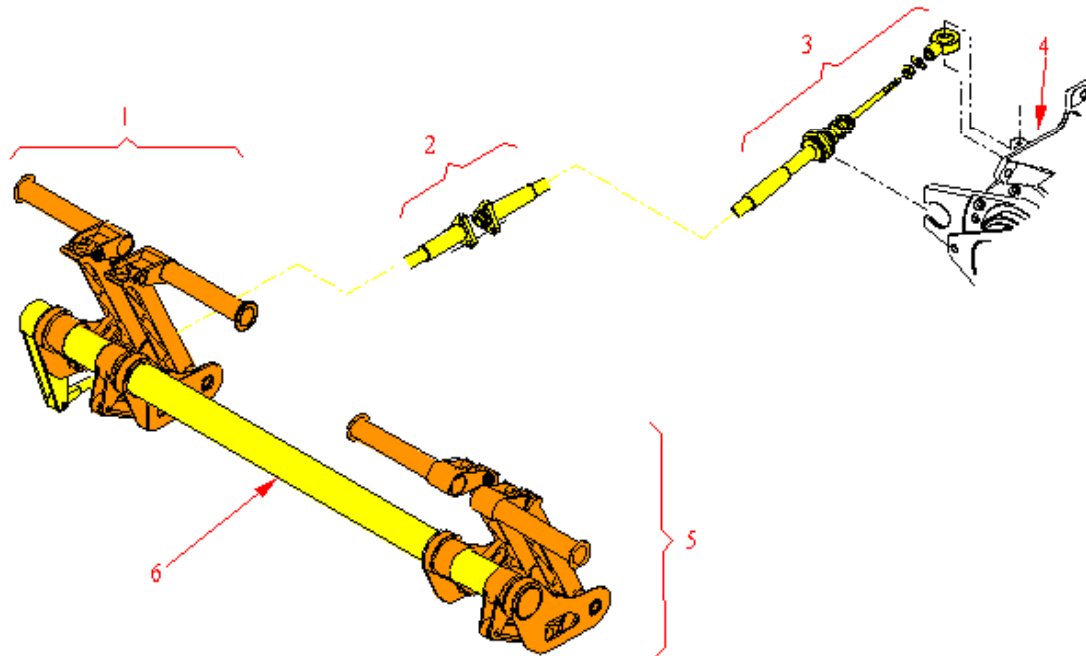




Ejemplos

- Conjunto completo de mandos de vuelo del EC120.

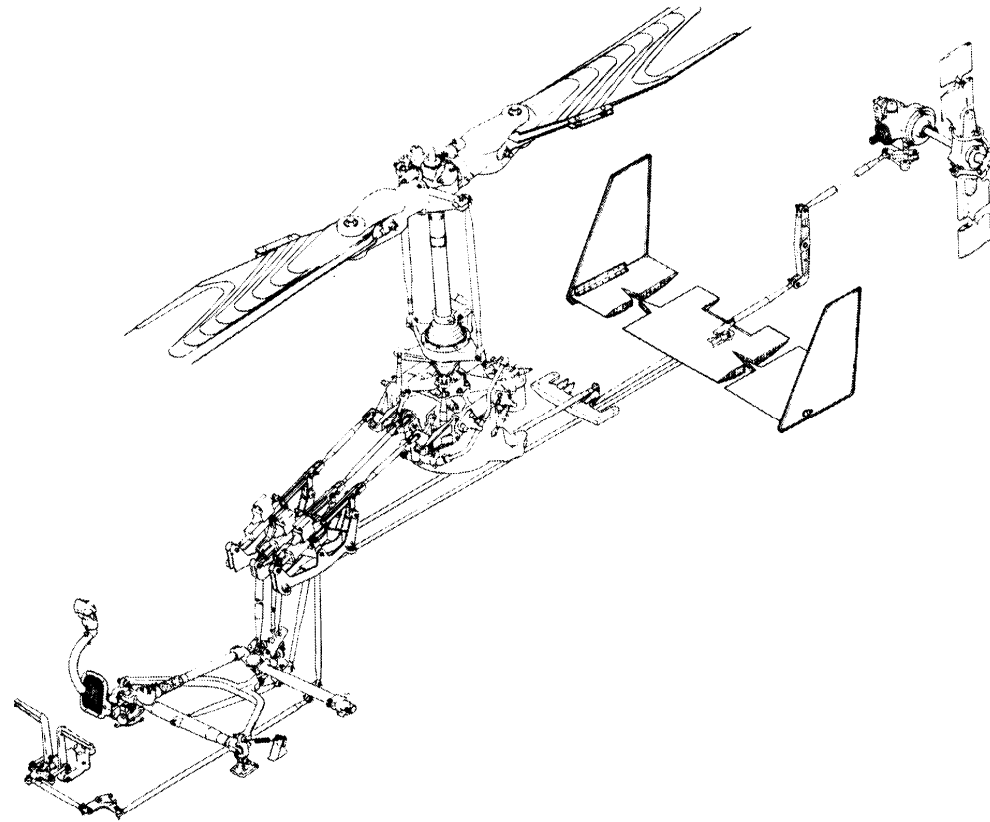
Figure 4. Description of the Yaw Controls - Rotor Flight Controls
Sheet 1.





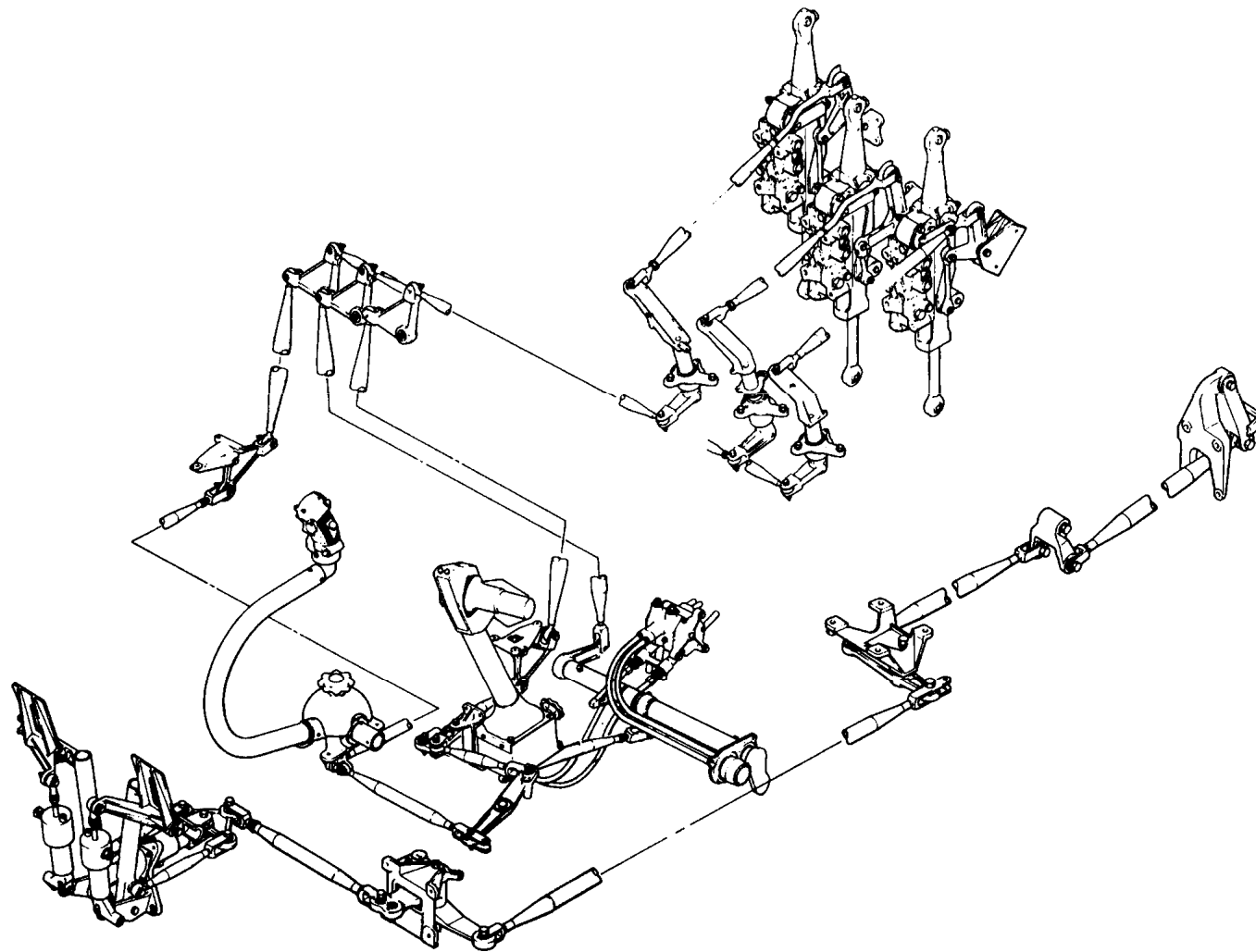
Ejemplos

- Conjunto completo de mandos de vuelo del helicóptero Bell 206L-4 Long Ranger IV.



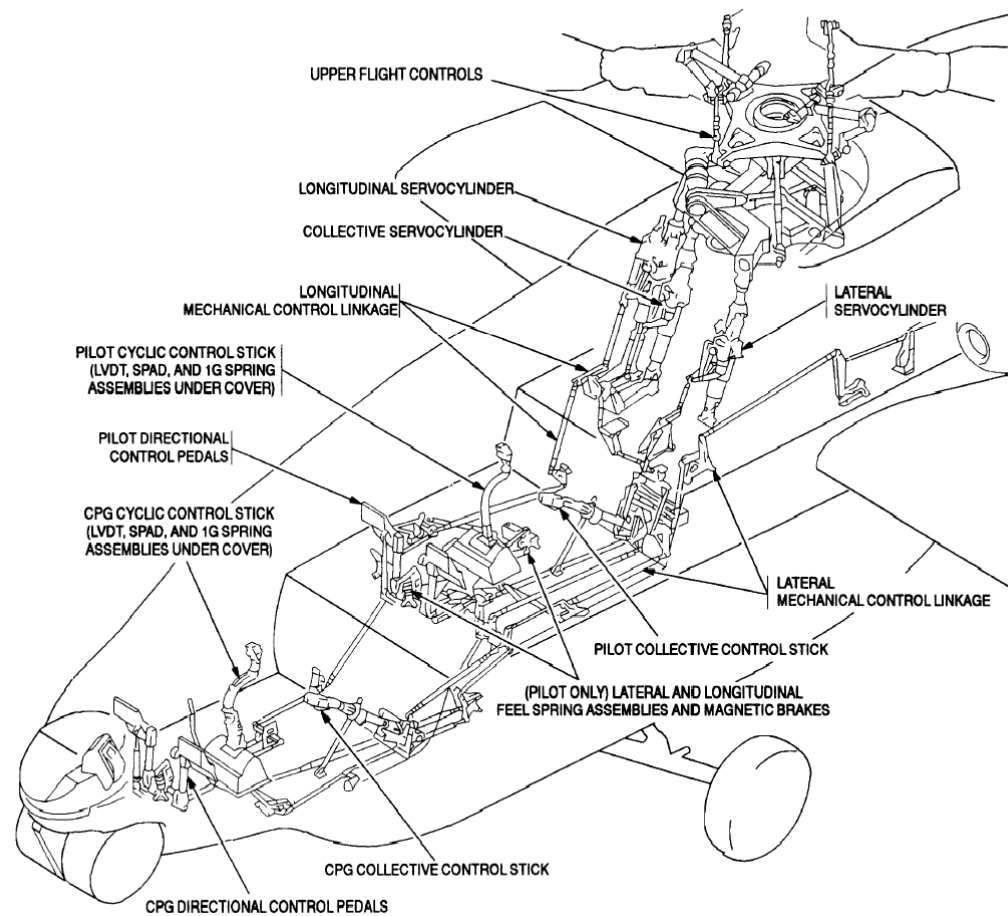


Sistema de mandos





Sistema de mandos



M01-215



CABINA





CABINA

2-13. INTEGRATED INSTRUMENTATION DISPLAY SYSTEM (IIDS)

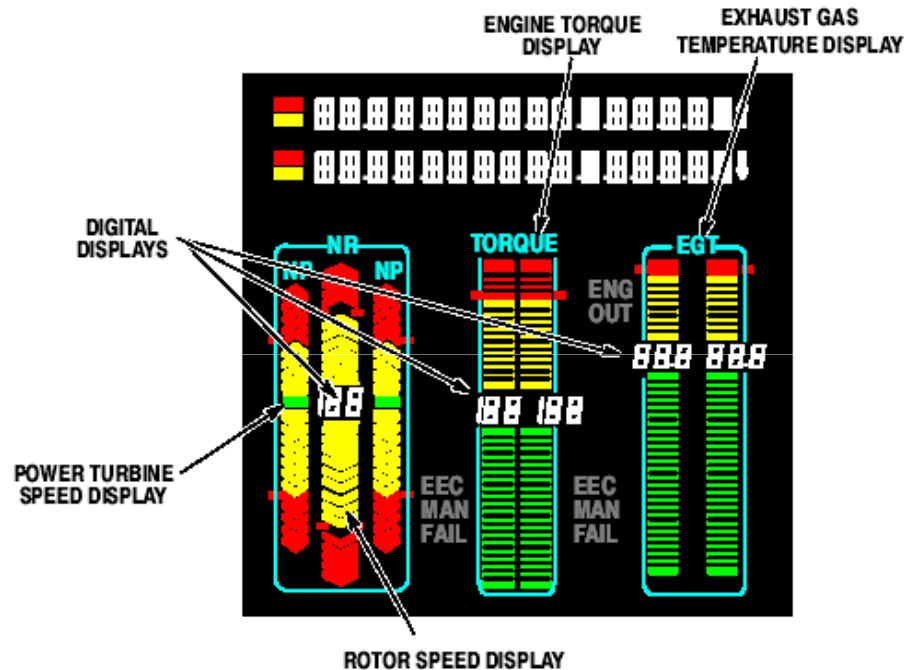


Figure 2-5. Primary IIDS Display

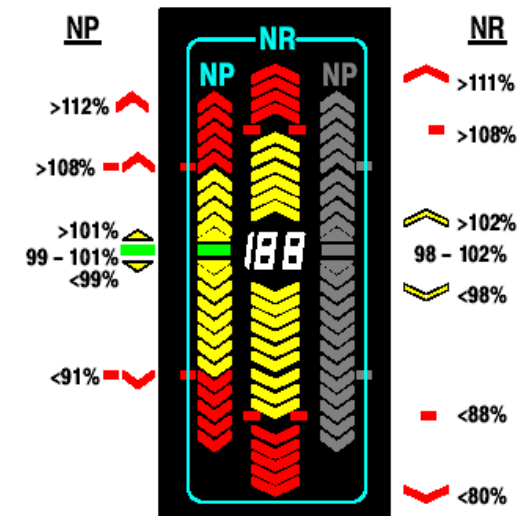
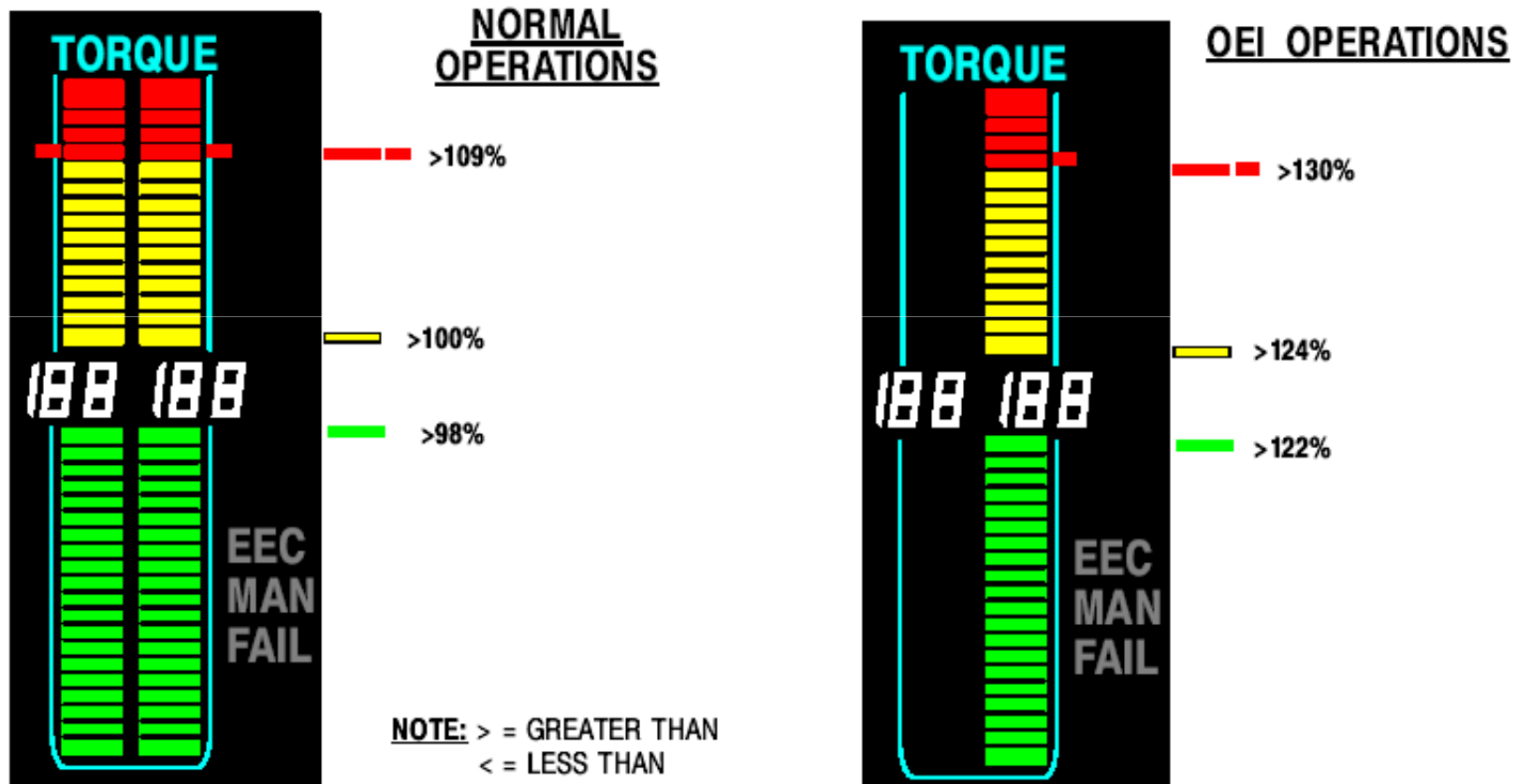


Figure 2-6. N_p and N_R Scales



CABINA

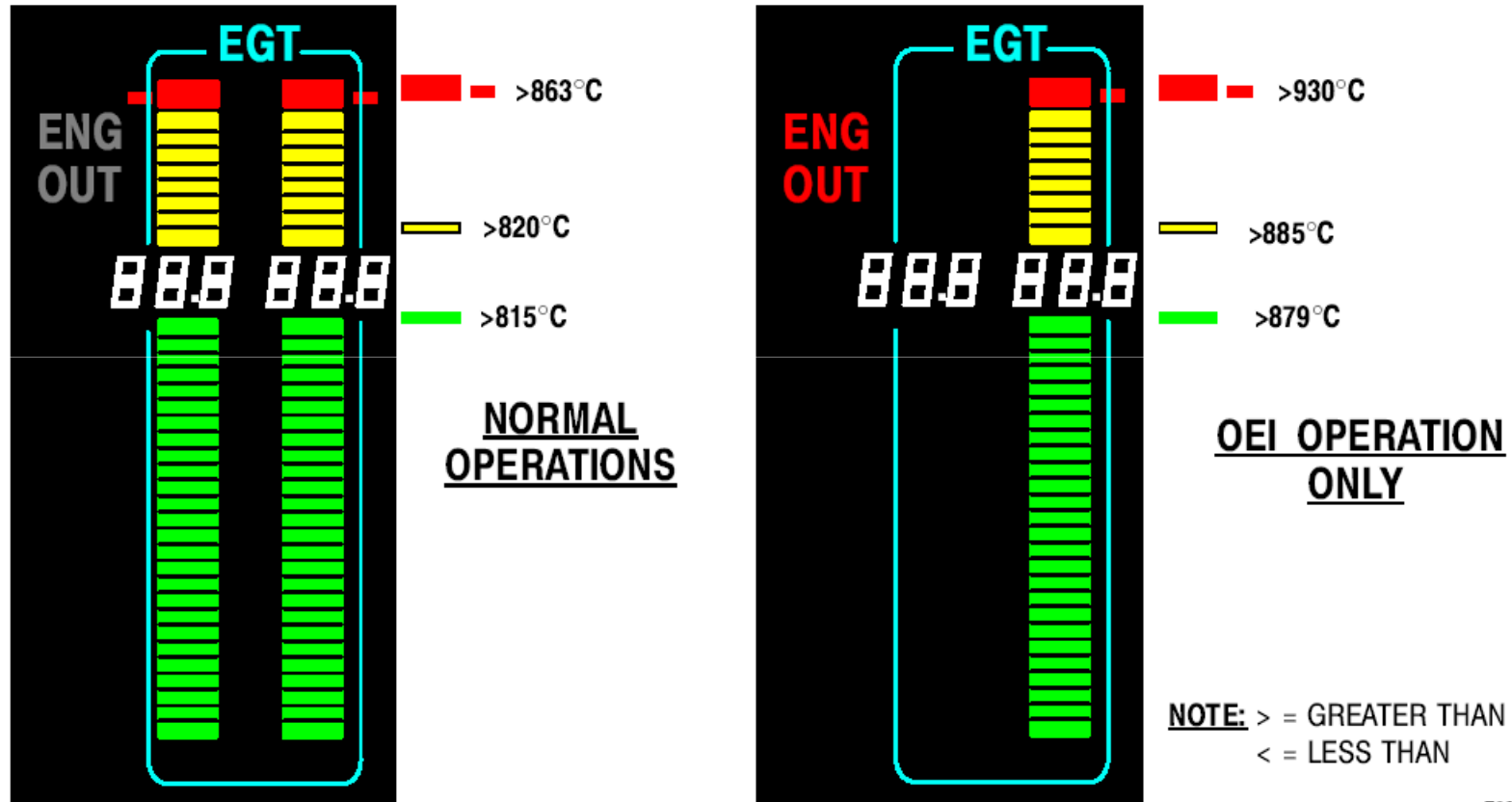


F92-014

Figure 2-7. Engine Torque



CABINA



F92-015

Figure 2-8. Engine Exhaust Gas Temperature



CABINA

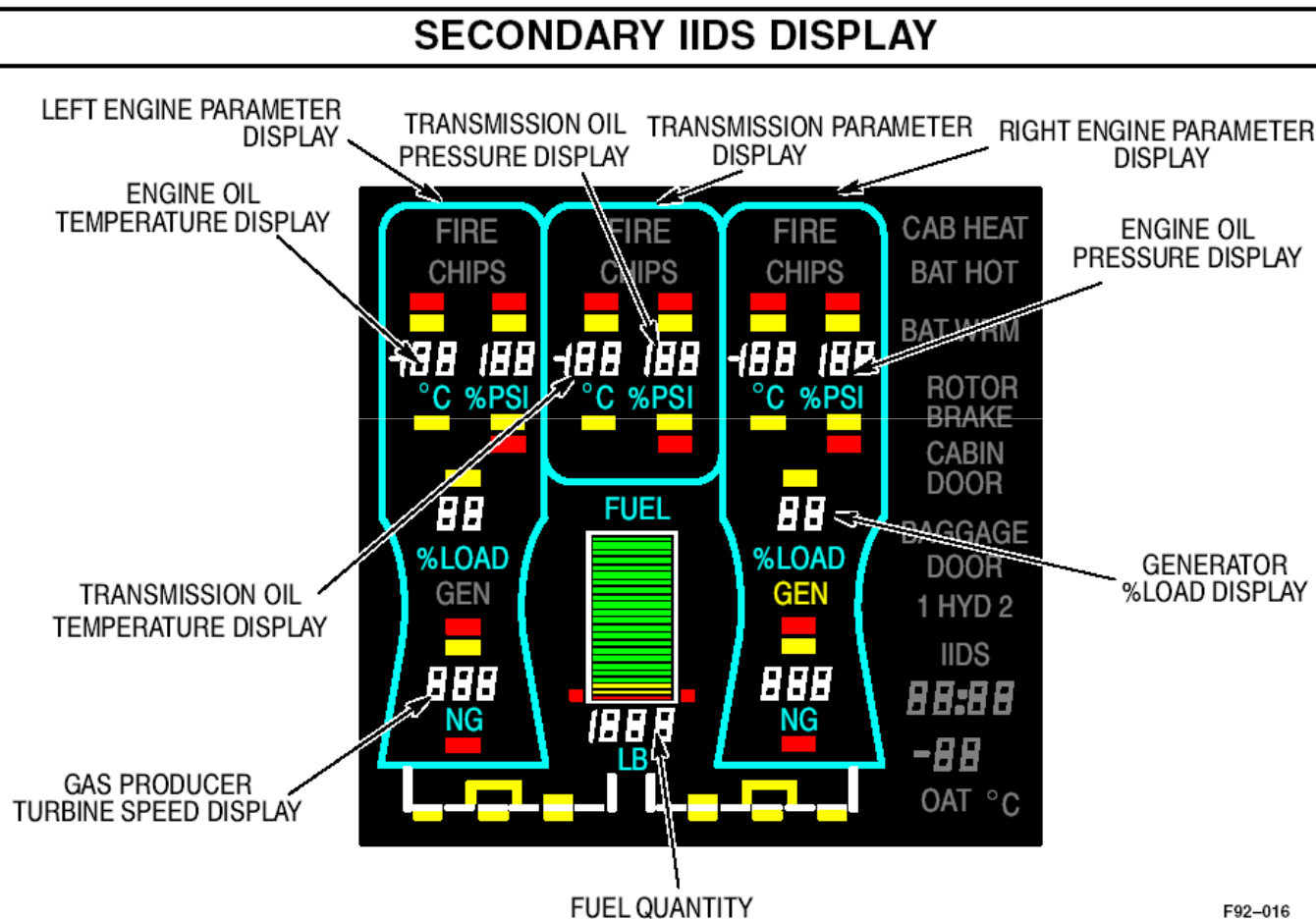
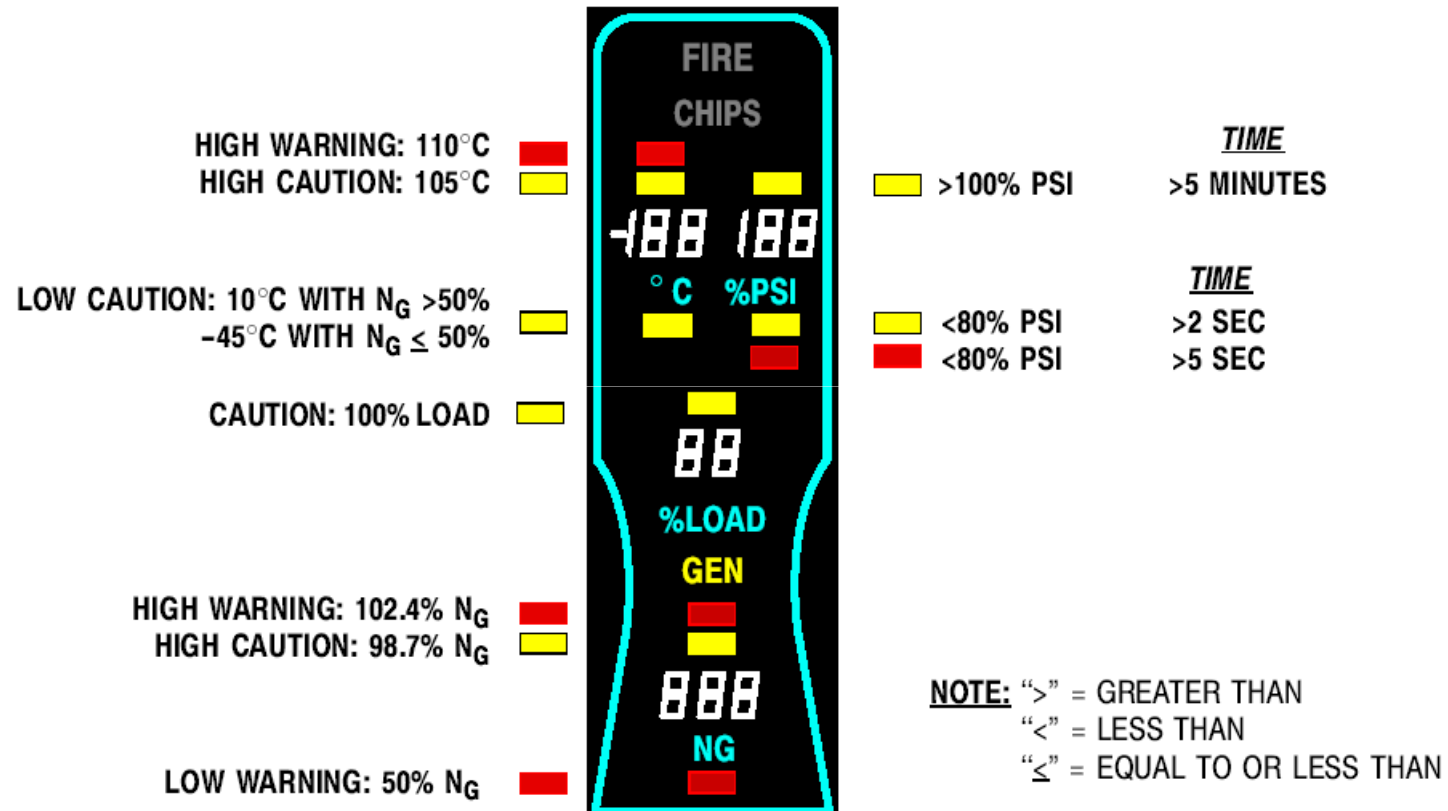


Figure 2-9. Secondary IIDS Display



CABINA



F92-017

Figure 2-10. Engine Display



Bibliografía

- M.A. Barcala Montejano y Ángel A. Rodríguez Sevillano. *Helicópteros. Teoría y Descriptiva*. Sección de Publicaciones E.U.I.T. Aeronáutica. Fundación General U.P.M.
- Alastair K. Cooke, Eric W.H. Fitzpatrick. *Helicopter Test and Evaluation*. Blackwell Science.
- A.R.S. Bramwell, George Done, David Balmford. *Bramwell's Helicopter Dynamics*. Butterwoth Heinemann, 2 edition 2001.
- J. Gordon Leishman. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge University Press, 2000.
- J. Seddon, Simon Newman. *Basic Helicopter Aerodynamics*. Blackwell Science, second edition 2002.
- John Watkinson. *The Art of the Helicopter*. Elsevier Butterwoth Heinemann, 2004.